

ОДРЖАВАЊЕ КАО КЉУЧ ДУГОВЕЧНОСТИ УСПЕШНОГ ФУНКЦИОНИСАЊА ПРУГА ЗА ВЕЛИКЕ БРЗИНЕ У СРБИЈИ

Станислав Јовановић¹

Драган Божовић,²

Бошко Чоко³

УДК: 625.1

DOI: 10.14415/konferencijaGFS 2015.064

Резиме: Опште је познато да трошкови одржавања елемената железничке инфраструктуре (ЕЖИ) представљају највећи део трошкова током животног века инфраструктуре. Међутим, ова чињеница је нарочито изражена код пруга за велике брзине, које имају низ специфичности у односу на конвенционалне пруге. Ове специфичности, скоро без изузетка, захтевају повећану пажњу која се мора посветити перманентном мерењу и праћењу стања ЕЖИ (а који се драстично разликују од конвенционалних пруга по броју и типу мерних система који се морају применити) и предиктивном и правовременом извођењу радова на одржавању и ремонту (О&Р), како би се стање ЕЖИ одржало у стриктно захтеваним оквирима. Стога и не чуди да се у свету на одржавање пруга за велике брзине редовно троши и до 100,000 ЕУР по километру годишње. То значи, да би се и за пругу за велике брзине кроз Србију, од Београда до Суботице, са нпр. оквирном дужином од око 180км, морало рачунати на годишње трошкове одржавања од око 18 мил.ЕУР. Важно је разумети да потреба за оваквим приступом не произилази само из осигурања безбедности возње при тако великим брзинама, већ и због драстичног повећања динамичких сила на контакту точка и шине, а који могу настати услед погоршања геометрије колосека и шине, које би настале ако се стање пруга не би перманентно пратило и пруга адекватно одржавала. Стога, ако се овакав приступ не обезбеди већ од првог дана експлоатације, пруга за велике ће рипидно пропасти, а због обавезних рестрикција брзина које тада неизоставно морају применити, и убрзо претворити у обичну конвенционалну пругу, а што би представљало недопустиво траћење изузетно високих инвестиционих трошкова.

Кључне речи: Железница, инфраструктура, пруге за велике брзине, мерење стања, анализа стања, планирање радова на одржавању и ремонту

¹ Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду, Трг Доситеја Обрадовића 6, е – mail: stasha.jovanovic@gmail.com

² Грађевински факултет Универзитета у Београду, Булевар краља Александра 73, Београд, е – mail: dragan.n.bozovic@gmail.com

³ Saobraćajni institut CIP, Nemanjina 6/IV, 11000 Beograd, e-mail: bosko.coko@gmail.com

1. СПЕЦИФИЧНОСТИ ПРУГА ЗА ВЕЛИКЕ БРЗИНЕ

Трошкови одржавања елемената железничке инфраструктуре (ЕЖИ) представљају највећи део трошкова током животног века инфраструктуре. Ова чињеница је нарочито изражена код пруга за велике брзине, које имају низ специфичности у односу на конвенционалне пруге. Ове специфичности, скоро без изузетка, захтевају повећану пажњу која се мора посветити перманентном мерењу и праћењу стања ЕЖИ (где се ова мерења драстично разликује од конвенционалних пруга по броју и типу мерних система који се морају применити) и предиктивном и правовременом извођењу радова на одржавању и ремонту (О&Р), како би се стање ЕЖИ одржало у стриктно захтеваним оквирима. Велике брзине возова неумитно захтевају неупоредиво већу фокусираност на све аспекте везане за безбедност возње, где кључне утицајне факторе на безбедност возње чине геометрија колосека у опсезима таласних дужина 3-25м, 25-70м, и 70-150м, али и већих, у зависности од максималне брзине, и геометрија шине у опсезима таласних дужина 0-3м. Међутим, утицај ових параметра на безбедност возње није и њихов једини кључни утицај. Скоро једнако важна је и чињеница да при великим брзинама и најмање неправилности у геометрији колосека и шине доводе до значајних повећања динамичких сила на контакту точка и шине, које рапидно даље погоршавају ову геометрију, чиме се затвара опасан зачарани круг узајамног погоршања. Овај феномен не само што значајно угрожава безбедност возње, већ под утицајем ових повећаних динамичких сила драстично утиче на убрзано пропадање свих ЕЖИ, али једнако и возних средстава. Зато је од кључне важности да се перманентним мерењем, анализом, моделирањем и предвиђањем сви аспекти стања ЕЖИ држе под константном и стриктном контролом, ради планирања и извођења правовремених О&Р радова. Ако се то не уради, пруга за велике брзине може рапидно пропасти и због обавезних рестрикција брзина које се у том случају морају применити, претворити у обичну конвенционалну пругу, што би представљало недопустиво траћење изузетно високих инвестиционих трошкова. Ако би се период неадекватног одржавања још мало и продужио, ЕЖИ могу толико пропасти, да више не би било ни исплативо враћати њихово стање у оно захтевано за велике брзине, из разлога огромних трошкова на О&Р који би се тада морали уложити да би се то постигло. То је управо и разлог зашто се пруге за возове великих брзина морају стриктно и перманентно одржавати, и зашто трошкови овог и оваквог одржавања на пругама за велике брзине широм света износе и до 100,000 ЕУР по километру годишње. То значи, да би се и за пругу за велике брзине кроз Србију, од Београда до Суботице, са дужином нпр. од око 180км, морало рачунати на годишње трошкове одржавања од око 18 мил.ЕУР, ако се не жели да пруга брзо пропадне на ниво постојећих пруга. Овај рад управо описује ове специфичности пруга за велике брзине са аспекта потребног одржавања и неопходне системе и методе за мерење стања који морају бити примењени на оваквим пругама.

2. СТРОГЕ ТОЛЕРАНЦИЈЕ ЗА ГЕОМЕТРИЈУ КОЛОСЕКА ПРУГА ЗА ВЕЛИКЕ БРЗИНЕ

Пруге за велике брзине захтевају далеко строже толеранције за геометрију колосека од конвенционалних пруга (за брзине до 160км/ч), што јасно показују Табела 1 и Табела 2 [1].

Табела 1: Дозвољене вредности стандардних девијација вертикалне геометрије колосека (стабилност) у Д1 домену таласних дужина (3-25м)

Брзина [km/h]	Гранична вредност за стандардну девијацију [mm]				
	Класе квалитета колосека				
	А	Б	Ц	Д	Е
$V < 80$	< 1.25	1.75	2.75	3.75	> 3.75
$80 < V \leq 120$	< 0.75	1.10	1.80	2.50	> 2.50
$120 < V \leq 160$	< 0.65	0.85	1.40	1.85	> 1.85
$160 < V \leq 230$	< 0.60	0.75	1.15	1.60	> 1.60
$230 < V \leq 300$	< 0.40	0.55	0.85	1.15	> 1.15
$V > 300$	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Табела 2: Дозвољене вредности стандардних девијација хоризонталне геометрије колосека (алињман) у Д1 домену таласних дужина (3-25м)

Брзина [km/h]	Гранична вредност за стандардну девијацију [mm]				
	Класе квалитета колосека				
	А	Б	Ц	Д	Е
$V < 80$	< 1.90	1.25	1.95	2.70	> 2.70
$80 < V \leq 120$	< 0.50	0.70	1.05	1.45	> 1.45
$120 < V \leq 160$	< 0.45	0.55	0.75	1.00	> 1.00
$160 < V \leq 230$	< 0.40	0.50	0.70	0.90	> 0.90
$230 < V \leq 300$	< 0.35	0.40	0.50	0.65	> 0.65
$V > 300$	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

У овим табелама су представљене и класе квалитета А-Е, базиране на кумулативној расподели пондерисане средње вредности измерене на свим железницама које су учествовале у пан-европском мерењу геометрије колосека на којој је базирана ова Европска Норма, са следећим значењем:

- Класа А – најбољих 10 % у расподели квалитета
- Класа Б – између 10 % и 30 % у расподели квалитета
- Класа Ц – између 30 % и 70 % у расподели квалитета
- Класа Д – између 70 % и 90 % у расподели квалитета
- Класа Е – изнад 90 % у расподели квалитета, што представља најгорих 10 % у расподели

Чак и ако се, познавајући наш однос према одржавању квалитета постојећих пруга, претпостави да ћемо и ове нове пруге, за велике брзине, лоше одржавати, и тако дозволити да падну у најгору категорију Е у расподели квалитета на већини пруга у Европи, може се видети да су и у тој категорији толеранције за брзине возова

које би важиле на нашим будућим пругама за велике брзине (опсег брзина 160-230км/ч) више од два пута строжије него што важе за наше постојеће пруге, тј. за брзине којима се наши возови по њима тренутно крећу (тренутна просечна брзина возова на мрежи ЖС се креће око 42 км/ч).

Из тога се недвосмислено мора закључити да ће обезбеђење тако стриктних толеранција, чак и ако по нашем уобичајеном принципу алжавости дозволимо да наше пруге максимално пропадну, захтевати далеко чешће провере (мерења) геометрије колосека и далеко чешћа и прецизнија извођења радова на корекцији геометрије колосека.

Из тога опет директно и недвосмислено произилази закључак да се ова мерења никако неће моћи вршити нашим постојећим мерним колима (ЕМ80Л), која поред тога што су осовинска (тј. немају обртна постоља) и тако намењена домену брзина који је знатно испод очекиваних за пругу за велике брзине, већ су и већином, последњих година, у квару, и тако уопште нерасположива за мерење. Таква ситуација, са мерним колима која нису у употребном стању, ће бити апсолутно недопустива за пруге за велике брзине. Стога произилази неизбежан закључак, да ће се морати набавити нова маерна кола, адекватна будућим брзинама возова на прузи за велике брзине.

Слично је и са постојећом механизацијом за одржавање геометрије колосека, која је и неадекватна, а и у сумњивом стању употребљивости, да би се уопште смело размишљати о њиховом коришћењу за будуће пруге за велике брзине. Стога јасно произилази да ће се и ова нова, скупа механизација, такође морати набавити паралелно са изградњом пруге за велике брзине.

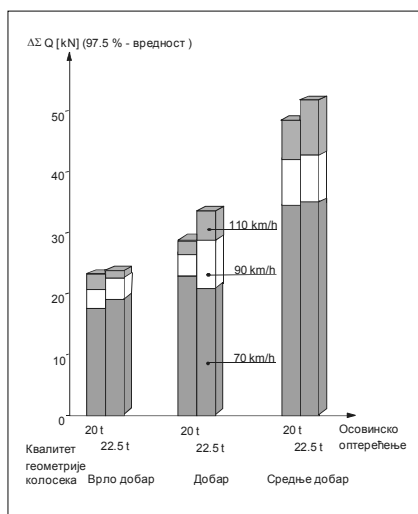
3. УЗАЈАМНА МЕЂУСОБНА ВЕЗА ИЗМЕЂУ РАЗЛИЧИТИХ ПАРАМЕТАРА КВАЛИТЕТА ЕЖИ

Тривијално је рећи да би елементи инфраструктуре имали далеко дужи животни век када не би били изложени саобраћају. Но, и овај тривијални исказ подсећа на нешто веома важно, а то је да саобраћај представља кључну детрименталну компоненту по инфраструктуру – а то су силе које се јављају на контакту између саобраћаја и инфраструктуре, тј. у овом случају на контакту точак-шина. У том смислу, од критичне важности су динамичке силе, које одлучујуће зависе од геометрије контакта точак-шина, и где су за ове силе многа истраживања [2][3][4] одавно доказала да могу да досегну чак и вишеструке вредности статичких сила у случајевима када је ова геометрија незадовољавајућа, Sl. 1 и Sl. 2 [2].

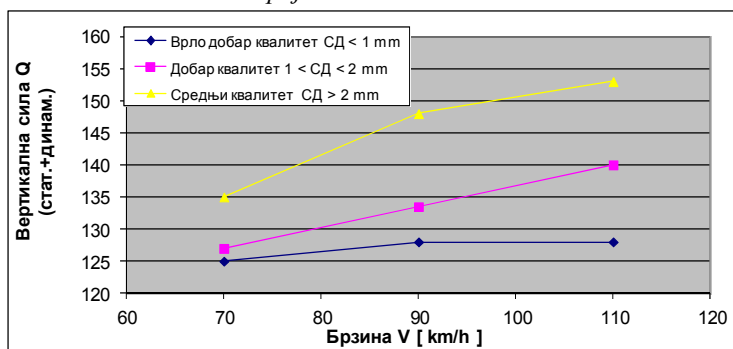
Оно што Sl. 1 и Sl. 2 показују јесте да за исто осовинско оптерећење, разлика у динамичком прираштају силе (тј. разлици између динамичке и статичке силе) између колосека са врло добром и средње добром геометријом колосека (тј. приближно нпр. Класе Б и Д) може бити скоро двострука (!).

Одатле се може лако извући једноставан закључак да се адекватним одржавањем правилне геометрије може драстично продужити експлоатациони век практично свих елемената инфраструктуре, или обрнуто, што је познавајући наш традиционални став према томе важније, а то је да се неадекватним одржавањем

може не само драстично смањити животни век свих компоненти колосека, што изискује њихову (екстремно скупу) замену, већ и условити обавезно смањење брзина кретања возова, што би фактички претворило пругу за велике брзине у класичну пругу и тиме обесмислило њену изградњу. Ово сазнање је од суштинског значаја по правилно разумевање користи и предности које *condition-based* приступ (ЦБ) одржавању пружа, јер је он управо тај, и једини од свих приступа, који је стриктно базиран, а самим тим и подразумева, перманентно мерење, а последично и познавање и контролу стања свих ЕЖИ, укључујући и све аспекте геометрије, па тиме и оне везане за контакт точак-шина.



Сл. 1: Динамичка компонента силе точка у односу на номинално осовинско оптерећење и квалитет геометрије колосека

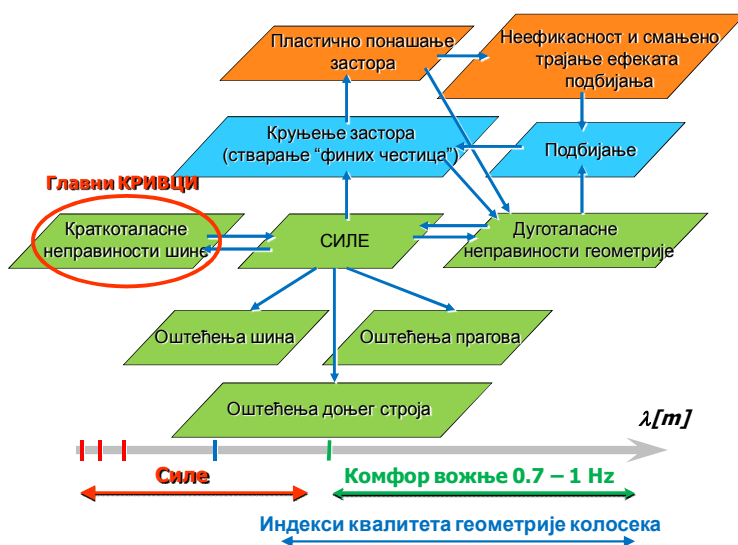


Сл. 2: Вертикалне силе Q (статичке+динамичке) за осовинско оптерећење од 22.5 t, измерено на мрежи DB (Немачке Железнице) СД = σ = Стандардна Девација вредности вертикалне геометрије колосека (стабилност)

Међутим, било би погрешно понадати се да је само геометрија колосека од важности у овом случају. Управо због великих брзина, за разлику од

конвенционалних пруга са мањим брзинама (а поготово наших, пропалих пруга, са изузетно малим брзинама), код пруга за велике брзине још важнију улогу од геометрије колосека игра геометрија шине, краћих таласних дужина (0 – 3м), јер је она управо та која представља кључни узрок пораста динамичких сила и даљег пропадања свих параметара стања већине ЕЖИ, укључујући и геометрију колосека (већих таласних дужина 3 – 25, 25 – 70, > 70m). Другим речима, геометрија колосека и њено пропадање представља само последицу (пропадања) геометрије шине, краћих таласних дужина.

Ово се најбоље може видети са Сл. 3, где се види узрочно-последична веза између краткоталасне геометрије шина, дуготаласне геометрије колосека, и пропадања свих ЕЖИ.



Сл. 3: "Зачарани круг" пропадања колосека

Оно што се може видети са Сл. 3 јесте да у центру механизма пропадања стоје динамичке силе на контакту точка и шине. Ове силе доводе до оштећења свих ЕЖИ који се налазе испод овог контакта, дакле шина, прагова, причвршћења, застора и доњег строја. Такође, ове силе доводе до погоршања краткоталасне геометрије шине, 0-3м (у свим распонима таласних дужина), где ово погоршање краткоталасне геометрије доводи до даљег значајног повећања динамичких сила. С друге стране, само као последица овог механизма, динамичке силе такође доводе до пропадања дуготаласне геометрије колосека, у свим стандардним распонима таласних дужина које су од интереса, а у случају пруга за велике брзине, поред стандардних распона Д1 (3-25м) и Д2 (25-70м), од значаја су још и таласне дужине Д3 изнад 70м (обично до 150м за вертикалну и 200м за хоризонталну геометрију колосека).

Ово пропадање геометрије колосека се фактички мери мерним колима, и у случају регистравања већих одступања, геометрија колосека се коригује подбијањем.

Оно што је од велике важности и што је потребно издвојити јесте да силе на контакту точка и шине доводе до круњења и дробљења засторног материјала, услед чега се стварају fine честице (засторна прашина). Међутим, поред ових динамичких сила, круњење застора такође настаје и од самог подбијања колосека (по неким истраживањима, током животног века застора, неких 55% његовог пропадања – већином круњења – потиче од самог подбијања колосека).

Када ова засторна прашина дође у контакт с водом, она се претвара у лепљиву блатњаву масу, која попуњава шупљине у застору и слењује га, чиме значајно смањује еластичност застора и доводи до његовог све већег пластичног понашања. Ово се такође мери мерним колима, тј. мерењем геометрије колосека, где се ова пластичност манифестује као неефикасност подбијања и смањено трајање ефеката подбијања. То се фактички види као недовољно побољшање геометрије колосека након извршеног подбијања и њено брзо накнадно пропадање, које убрзо тражи ново подбијање.

Наравно, оно што железнице већином и раде у таквим ситуацијама, јесте да поново подбијају колосек, желећи да поправе геометрију колосека, али је јасно да, поред евентуалног краткотрајног успеха којег тиме могу постићи, само додатно погоршавају ситуацију, јер додатно круне засторни материјал, а и мешају слењени засторни материјал заблаћеним честицама, што никако не води добром исходу.

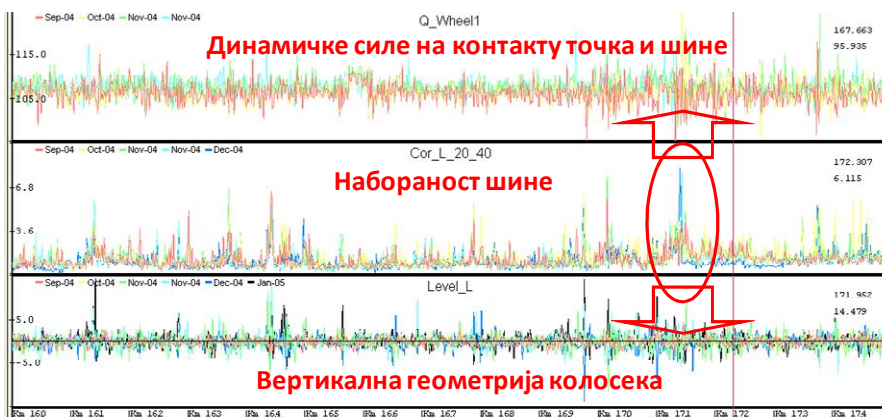
Конечно, оно што пре или касније железнице у таквим ситуацијама увиђају и бивају приморане да ураде, јесте решетање или замена засторног материјала, што представља изузетно скупу активност.

У случају да се то не може, из било којих разлога на време учинити, а да се такође и подбијање колосека, које је постало пречесто, такође не може даље извршавати с толиком учесталашћу, једино што преостаје железницама, због рапидно погоршавајуће геометрије колосека, јесте да примене тзв. „споре возње“, тј. да смање брзине кретања возова. Јасно је да је ово управо оно што поништава смисао пруга за велике брзине и чини изузетно високе инвестиционе трошкове баченим средствима.

4. УТИЦАЈ НАБОРАНОСТИ ШИНА

За набораност шина је познато да значајно повећава динамичке силе на контакту точка/шина, што даље може озбиљно да погорша вертикалну геометрију колосека, нарочито у домену већих таласних дужина. Ове две ствари заједно, могу даље драстично да скрате животни век свих елемената колосека. Набораност шина може такође изазвати и озбиљна површинска оштећења на горњој површини главе шине, као и разна унутрашња оштећења шина, напрснућа бетонских прагова или лабављење причвршћења код дрвених прагова, као дробљење засторног материјала, и то из већ раније поменута два главна разлога: (1) као последица повећаних динамичких сила и (2) као последица учесталог подбијања иницираног понављајућим проблемима са геометријом колосека већих таласних дужина.

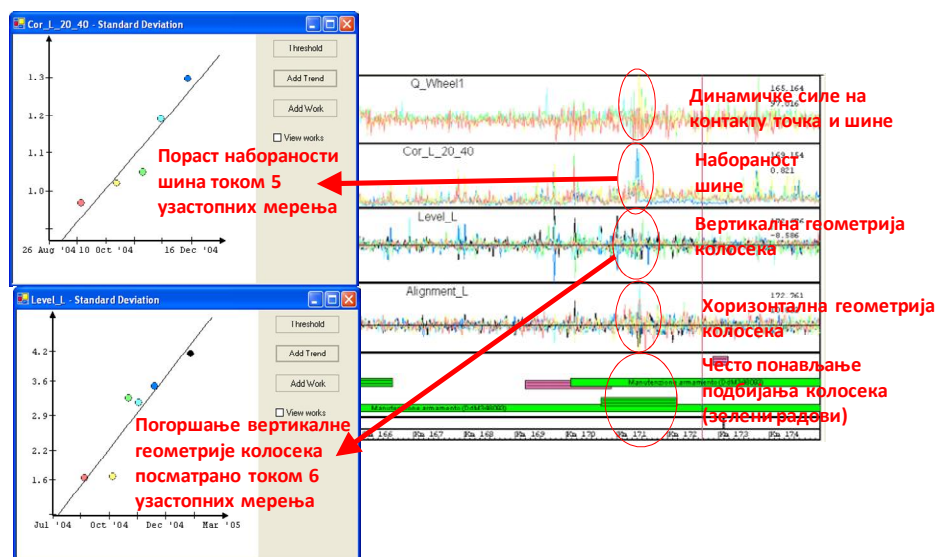
Коначно, у крајњој инстанци, набораност шина може чак допринети и веома опасним (и веома скупим, када се морају санирати) оштећењима доњег строја. Ова каузална веза између набораности (као суштинског узрока), динамичких сила и геометрије колосека (као једне од последица), може се најбоље видети преко кореспондентних мерења, као на пример неких учињених у Италији и презентираних кроз одговарајући софтверски алат за визуелизацију, Сл. 4. У ствари, на истој слици може се уочити не само једно, већ неколико таквих места на колосеку, и имајући могућност њихове одличне визуелизације, то више и не захтева превелико знање да би се уочиле узрочно/последичне везе између њих. Међутим, оно што је можда и најинтересантније јесте то да ако се боље погледа на пример означена локацију на Сл. 4 и погледа, тј. израчуна прогресија кроз време, како набораности тако и њених последица, динамичких сила и вертикалне геометрије колосека, одмах би се могло приметити да они имају скоро идентичан тренд. Ако би се затим у то разматрање укључила и визуелизација историје радова (Сл. 5), одмах би се могло приметити да због учесталог и понављајућег проблема са геометријом колосека (а која је фактички само индукована порастом набораности шина), ова локација је упорно и често (више пута, тачније 4 пута) подбијана, а ипак, и упркос томе, проблем са геометријом колосека се и даље поново враћао и понављао (у ствари само све више погоршавао).



Сл. 4: Последице набораности шина

Ово све се заиста дешавало искључиво због постојања једног потпуно другог, али суштинског разлога, а то је постојање, и све већи раст, тј. погоршање, набораности шина, на коју очигледно нико није обраћао пажњу, а самим тим ни отклањао (брушењем шина). И тако, уместо упорно понављаног подбијања колосека, овој деоници је надасве било потребно брушење шина, а тек онда подбијање, и тада би понашање ове деонице било много стабилније, како у смислу геометрије колосека, тако и у смислу набораности шина, а ефекти подбијања далеко дуготрајнији. У овом случају, штета је само да за ову деоницу нису постојале информације о егзистенцији и порасту површинских и унутрашњих оштећења шина, јер да јесу, те информације би највероватније још додатно подупрле ову причу и потврдиле закључак да је заиста набораност шина на овој локацији проузроковала

вишеструке штетне последице. Најтежа од ових последица је нажалост и најмање видљива и доказива, а то је повећање замора код свих компоненти колосека на тој локацији, индукованих повећаним динамичким силама, а што озбиљно скраћује њихове животне векове и тако такође озбиљно повећава укупне трошкове O&P.

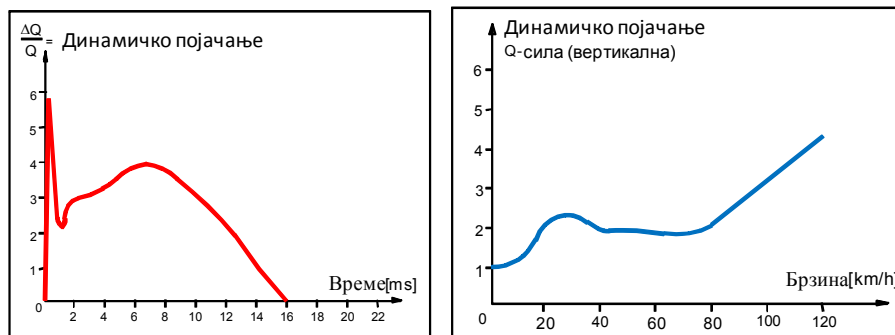


Сл. 5: Кореспондирајуће прогресије набораности шина и вертикалне геометрије колосека у времену и вишеструко (непотребно) понављање подбијања колосека, које је у овом случају „лечило симптом“, а не главни узрок

Али набораност колосека није и једина која се мора додати у смислу мерења и надгледања, ради контролisaња пораста динамичких сила. Скоро једнако важна је и геометрија заварених шинских спојева, која не само што такође доводи до значајног (додуше локалног) повећања динамичких сила, већ је за њу и доказано да одлучујуће утиче на општу геометрију колосека, као једну од њених најдиректнијих последица, Сл. 6. Оно што Сл. 6 показује јесте, ако се посматра леви график, да током проласка точка преко завареног шинског споја, у једном веома кратком тренутку (око 1 милисекунде) одмах након наиласка точка, динамичко појачање (дакле, однос разлике динамичке и статичке силе према статичкој сили) се подиже чак до вредности 6, што значи, да у том кратком тренутку, фактички на контакту точка и шине делује скоро седмострука (6+1) статичка сила, која се након тог веома кратког тренутка мало смањује, али и даље, између, грубо речено пете и десете милисекунде, и даље износи преко 3 (скоро 4), што значи да током тог времена, укупна динамичка сила на контакту точка и шине износи 4 (3+1), односно 5 (4+1) пута више од статичке силе. Даље је веома лако закључити какво негативно дејство оваква сила има на пропадање свих ЕЖИ.

Оно што десни график говори је и веома логично, а то је пораст динамичке силе у односу на пораст брзине кретања, где при брзини $V=0$ км/ч, однос динамичке и статичке силе износи 1, тј. укупна сила је равна статичкој сили. Међутим, са

порастом брзине овај однос брзо и значајно расте, где се види да при брзини од 120 км/ч он већ износи око 4.5, дакле укупна динамичка сила која у том тренутку делује на контакту точка и шине, током преласка преко завареног шинског споја, износи 5.5 вредности статичке силе (4.5+1).



Сл. 6: (лево) Вертикалне динамичке силе точка током преласка преко завареног споја и (десно) повећање вертикалне динамичке силе точка у односу на брзину током преласка преко завареног споја

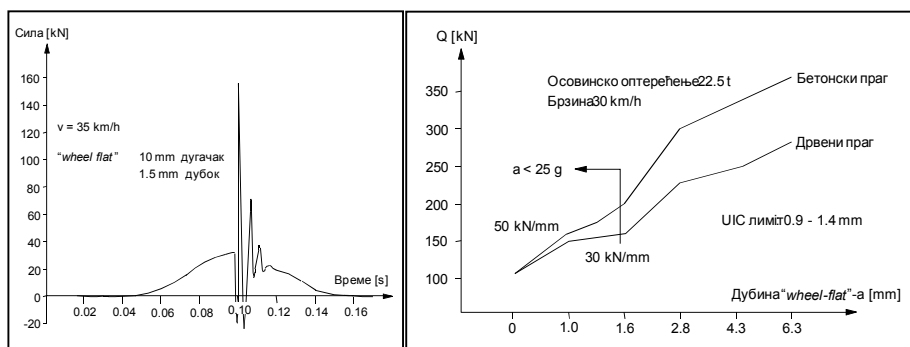
Колико је ово тачно и важно потврђује и пример са холандских железница, где је током 80-тих година 20. века, 80% познатих проблематичних места, тј. места са познатим понављајућим проблемима са геометријом колосека, успешно елиминисано корекцијом геометрије заварених шинских спојева, што је и довело до увођења потпуно нових прописа за извођење и контролу заварених шинских спојева. Ови прописи су такође тестирани на недавно изграђеној прузи за велике брзине у Холандији, где је такође утврђено да значајан број заварених шинских спојева није задовољио ове нове прописе, тако да су морали бити поново израђени. Ово је наравно учињено, јер је било јасно да би штете од њиховог остављања у колосеку са дефектном геометријом произвело далеко веће трошкове, на рачун повећања динамичких сила и последичног пропадања, како геометрије колосека, тако и свих осталих ЕЖИ.

Конечно, ако узмемо у обзир (огромну) укупну вредност елемената инфраструктуре, јасно је да би и најмање систематско/просечно продужење њиховог експлоатационог века довело до огромних апсолутних користи, тј. уштеда, а поготово ако би то продужење века било драстично, или бар озбиљнијих размера (*а последње процене, како из праксе, тако и из теорије, наводе да би се и продужења експлоатационог века од 10-30% могла остварити оптималном применом модерног condition-based приступа !*).

Што се тиче користи и уштеда од померања са корективног ка превентивном/предиктивном одржавању, одмах је, чак и интуитивно јасно да би се са предзнањем о стању елемената инфраструктуре релативно лако и директно могла постићи побољшања у смислу смањења броја дефеката и оштећења, јер би се реаговало пре него што дефекти и оштећења настану, и тиме спречили, а слична логика важи и за смањење поремећаја у саобраћају.

Омогућавање довољног времена за планирање и оптимизацију алокације ресурса би се такође постигло путем предзнања о стању елемената и могућношћу његовог предвиђања, тј. дефинисања оптималног момента спровођења адекватне мере О&Р. Овим се фактички омогућава правовремено познавање момента извођења радова, тј. довољно времена унапред, што би дозволило детаљно планирање и оптимизацију употребе ресурса, укључујући и времена, тј. тачног момента извођења радова, чиме се може изабрати да се радови обављају у најповољнијем моменту, нпр. преко викенда, или преко ноћи, када је цена њиховог обављања најнижа.

Тakoђе би било веома важно напоменути да би се код пруга за велике брзине морала велика пажња узајамном *condition-based* анализи не само инфраструктуре, већ и обртних средстава, пошто њихово стање (нпр. заравњена места на бандажима точкова ("wheel flats") као и њихова похабаност, затим закошеност осовина ("skewed axles"), стање огибљења, итд.) такође веома значајно утиче на динамичке силе којима се инфраструктура излаже, а самим тим и понашање инфраструктуре, што се може видети са Сл. 7.



Сл. 7: (лево) Силе између шине и прага током проласка точка са заравњеним делом (wheel-flat) и (десно) сиже ОРЕ Д161 истраживања о ефектима заравњених делова точкова на силе које точак изазива

5. РЕПЕРКУСИЈЕ НА ТРОШКОВЕ ОДРЖАВАЊА

Ако би се на крају желело израчунати какве би све то последице горепоменути механизми пропадања ЕЖИ и геометрије колосека имали на укупне трошкове одржавања, могли бисмо искористити још један модел Међународне Железничке Уније (УИЦ).

$$e(T) - e_0 = k \circ T^\alpha \circ P^\beta \circ V^\gamma \quad (0-1)$$

Где је:

- e_0 – почетна вредност геометрије колосека која одговара „нултом“ акумулираном саобраћајном оптерећењу (нпр. то би могао бити моменат одмах након извршене изградње колосека или генералног ремонта колосека, или решетања/замене застора)

- e_T – вредност квалитета геометрије колосека након одређеног акумулираног саобраћајног оптерећења
- T – Акумулирано саобраћајно оптерећење
- P – Репрезентативно динамичко осовинско оптерећење ($P = \Sigma Q$)
- V – Брзина возова

Овај модел пропадања геометрије колосека је карактеристичан за сваки тип инфраструктуре посебно, и нарочито зависи од карактеристика саобраћаја, као што су динамичко осовинско оптерећење, акумулирано саобраћајно оптерећење, као и других параметара као што су непоништено бочно убрзање, радијуси кривина, типови возних средстава, итд.

Овај модел је у својој пуној форми, веома комплексан, и захтева изузетно пажљиво тумачење и калибрацију, али у својој најпростијој верзији, веома добро се може искористити за проналажење релативног повећања трошкова у односу на неко референтно стање, а што је управо оно што је од интереса у овом раду – а то је да се процене трошкови одржавања пруга за велике брзине и нарочито да се упореде са нпр. тренутним трошковима одржавања постојећих пруга:

$$\frac{C_2}{C_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^\alpha \circ \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^\gamma \circ \left(\frac{e_{\max 1} - e_{01}}{e_{\max 2} - e_{02}} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (0-2)$$

Где:

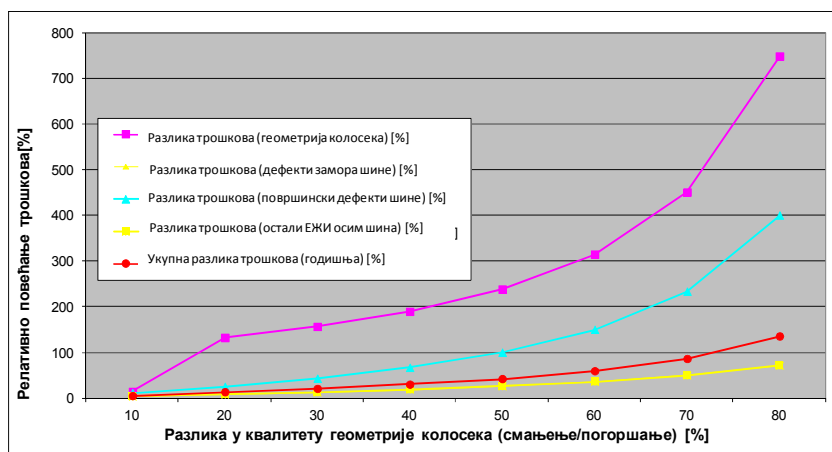
- P_2 и V_2 , представљају „нове“ вредности, док
- P_1 и V_1 представљају “старе” вредности, тј. вредности у односу на које се врши упоређење

УИЦ модел дат упрошћено формулама (0-1) и (0-2) такође даје и низ вредности за коефицијенте α , β и γ , за различите аспекте пропадања различитих ЕЖИ. Једно од најпростијих тумачења која се могу постићи коришћењем овог модела јесте да се израчуна релативно повећање трошкова насталих само као последица погоршања геометрије колосека, тј. неадекватног одржавања, а што је управо од интереса за тематику разматрану у овом раду.

Тако се коришћењем формуле (0-2), може добити једноставно упоређење, тј. релативно повећање трошкова у односу на референтни квалитет геометрије колосека, у односу на потенцијално смањење (погоршање) геометрије колосека, Sl. 8. Оно што Sl. 8. показује јесте да чак и при идентичним брзинама (и наравно идентичним осовинским и акумулираним саобраћаним оптерећењем) пораст трошкова одржавања проузрокован само неадекватним одржавањем геометрије колосека, тј. допуштањем да се геометрија колосека погорша нпр. за 80% у односу на неко референтно (нпр. добро) стање, дакле нпр. са вредности од 1мм стандардне девијације на 1.8мм стандардне девијације, а што је, како се може видети (Табела 1 и Табела 2) далеко мање него разлика у захтеваном квалитету између пруга за велике брзине и наших садашњих пруга, износи чак 135%, дакле 2.35 пута више од референтних трошкова.

Остаје да се израчуна за неку другу прилику колико би тек ово релативно повећање износило када би се брзина повећала са садашњих 42км/ч на 160 (а

поготово на 250 км/ч), али је сигурно да би било више него значајно. Зато и не чуди да трошкови одржавања само горњег строја пруга за велике брзине у свету, како је напоменуто у уводу, износе и до 100,000 ЕУР по километру пруге сваке године, и то је нешто на шта се никако не би смело заборавити приликом разматрања могућности изградње пруге за велике брзине кроз Србију.



Sl. 8: Релативно повећање трошкова у односу на референтни квалитет геометрије колосека, у односу на потенцијално смањење (погоршање) геометрије колосека

6. ПОТРЕБНИ МЕРНИ СИСТЕМИ

Као што је већ напоменуто, за разлику од конвенционалних пруга, са брзинама до 160км/ч, а нарочито у поређењу са нашим пругама у садашњем стању, врсте мерења и учесталост мерења које ће се морати предузети на пругама за велике брзине, ако се жели да оне не пропадну, су драстично другачији. У том случају, постоји широка лепеза различитих дијагностичких система који се морају набавити и перманентно примењивати како би се осигурало потпуно функционисање *condition-based* ланца одржавања. Табела 3 даје сажет приказ основних категорија ових система [7].

Табела 3: Основне категорије железничких дијагностичких система које се стандардно примењују на пругама за велике брзине

Категорија	Тип мерења
Мерења колосека, тј. горњег строја	Геометрија колосека Профил шине Набораност шине Профил застора
Мернења контактне мреже	Геометрија контактне мреже Хабање (профил) контактне мреже Интеракција пантографа и контактне мреже Детекција варничења

Категорија	Тип мерења
	Електрични параметри контактне мреже
Мерење динамике возила	Квалитет (комфор) вожње Убрзања шасије, осовинског постоља и осовинских слогова Силе на контакту шина-точак Геометрија контакта шина-точак
"Vision" системи	Аутоматска детекција површинских оштећења на шинама Аутоматска детекција оштећења на контактном воду
Видео инспекција	Пружни појас, профил и окружење Површина колосека Контактна мрежа и контактни вод Перони
Остали видови мониторинга	Сигнално-сигурносни уређаји и њихов рад Квалитет телекомуникационих сигнала и опреме Температура окружења Детекција оштећења и мерење стања тунелске облоге Профил тунела и других грађевинских објеката Кинематички габарит/профил Позициони системи (одометар, ГПС, итд.)

7. ЗАКЉУЧАК

Пруге за велике брзине имају низ специфичности у односу на конвенционалне пруге. Ове специфичности, скоро без изузетка, захтевају повећану пажњу која се мора посветити перманентном мерењу и праћењу стања свих елемената железничке инфраструктуре (ЕЖИ), где се ова мерења драстично разликује од конвенционалних пруга по броју и типу мерних система који се морају применити, и предиктивном и правовременом извођењу радова на одржавању и ремонту, како би се стање ЕЖИ одржало у стриктно захтеваним оквирима. Ако се то не уради, пруга за велике брзине ће рапидно пропасти и због обавезних рестрикција брзина које се у том случају морају применити, претворити у обичну конвенционалну пругу, што би представљало недопустиво траћење изузетно високих инвестиционих трошкова.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] EUROPEAN STANDARD prEN 13848-6 Railway applications - Track - Track geometry quality - Part 6: Characterisation of track geometry quality
- [2] UIC - ORE D 161, "Dynamic vehicle/track interaction phenomena from the point of view of track maintenance", Rp. 3, "Final report : Conclusions and recommendations", Utrecht, September 1988.
- [3] UIC - ORE D 161.1, "Dynamic effects of 22.5 t axle loads on the track", RP 4, "The dynamic effects due to increasing axle loads from 20 to 22.5 t and the estimated increase in maintenance costs", Utrecht, September 1987

- [4] UIC - ORE D 141, "Effect on the track of raising the axle-load from 20 t to 22.5 t", RP 5, "Study of the technical and economical consequences of increasing the axle-load from 20 t to 22.5 t", Utrecht, September **1982**.
- [5] S. Jovanovic (2011), Ph.D. Thesis: Contribution to the optimization of the Railway Track Maintenance Management System, Belgrade, November 11, **2011**
- [6] S. Jovanovic (2013): Measuring and the Analysis of the Railway Infrastructure Elements, Days of Transportation Infrastructure (Dani prometnica) 2013, Zagreb, Croatia, 25-26 March **2013**
- [7] S. Jovanović, D. Božovic, M. Tomičić-Torlaković, Railway infrastructure condition-monitoring and analysis as a basis for maintenance management, *Gradjevinar* Volume 66, **2014**, Issue: 4
- [8] Јовановић С.: Прилог оптимизацији система одржавања пруга за велике брзине, Магистарски Рад, Београд **1997**.
- [9] Jovanovic S., Zaalberg H.: ECOTRACK: Two years of experience, *Rail International - Schienen der Welt*, **April 2000**, ISSN 00208442
- [10] Pace P., Jovanovic S.: Using measurement data for decision support, *International Railway Journal*, **July 2011 issue**, Volume 51, Issue 7, p. 37-39, ISSN 0744-5326

MAINTENANCE AS THE KEY TO THE LONGEVITY OF HIGH SPEED LINES IN SERBIA

Summary: *It is well known and recognized that the Maintenance & Renewal (M&R) expenses represent the largest portion of overall Life Cycle Costs (LCC) of railway infrastructure. This is especially pronounced with High-speed lines (HSL) which have a whole array of unique characteristics in comparison to the conventional lines. These specific characteristics, almost without exception, require increased attention that must be paid to the permanent monitoring and measuring of all railway infrastructure components (RIC). These measurements and monitoring decisively differ from those of the conventional lines, both in terms of types and the quantity of different measuring systems that must be systematically applied. In addition to the measuring/monitoring systems, equally important are the predictive and timely performance of the M&R works in order to keep all RIC within very strict HSL tolerances. This is why it is no surprise that the M&R of HSL lines often account for 100,000 EUR per kilometer of track every year. That means, that for the potential HSL in Serbia, from Belgrade to Subotica, with the length of approximately 200km, some 20 mil. EUR would have to be spent every year only on track M&R. It is important to understand that the need for this kind of approach is not necessitated only by the protection of safety at such high speeds, but also by the drastic increase in dynamic forces at the wheel/rail (W/R) contact, which can occur due to the deterioration of both rail and track geometry if the track would not be permanently and adequately maintained. For that reason, if such an approach is not secured from the first day of HSL operation, the HSL will rapidly deteriorate, and then, due to speed restriction that would inevitably have to be imposed, it would quickly turn into a conventional line, which would all represent an unacceptable and inexcusable waste of extremely high investments.*

Key words: *Railway, infrastructure, high speed lines, condition monitoring, condition analysis, maintenance & renewal planning*